

道口镇传统街巷空间风环境特征研究

张佳敏, 姚珊珊, 吕红医

(郑州大学 建筑学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 道口镇, 作为大运河永济渠段重要的历史村镇, 具有“三街六铺七十二胡同”的传统街巷空间结构。采用 CFD 技术研究了道口镇顺河北街片区街巷空间风环境特征, 解析了街巷空间风环境与街巷空间特征、街巷尺度的关系。研究结果表明街巷的开敞空间、拐角空间及入口空间的通风效果较好, 不同季节街巷尺度与街巷空间舒适风的关系具有较为明显的差异。在夏冬两季, 街巷宽度一定时建筑高度与舒适风速比率呈正相关; 建筑高度一定且街巷宽度在 1.3~2.0 m 之间时, 舒适风速比率随着街巷宽度的增加呈先增加后减小的趋势; 建筑高度一定且街巷宽度在 2.0~5.0 m 之间时, 舒适风速比率随街巷高宽比的增加呈先增加后减小的趋势。而在春季, 当街巷宽度在 1.3~2.0 m 之间且建筑高度不为 9 m 时, 街巷宽度一定舒适风速比率随着建筑高度的增加呈先减小后增加的趋势; 建筑高度一定舒适风速比率与街巷宽度呈正相关, 与街巷高宽比呈负相关。

关键词: 历史村镇; 风环境; 街巷尺度; CFD 技术

中图分类号: TU984.113

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2023)03-0432-10

Study on spatial wind environment characteristics of traditional streets and lanes in Daokou Town

ZHANG Jiamin, YAO Shanshan, LÜ Hongyi

(School of Architecture, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Daokou Town, as an important historical village in the Yongji Canal section of the Grand Canal, has a traditional spatial structure of “three streets, six stores and seventy-two alleys”. In this paper, CFD technology is used to study the characteristics of street spatial wind environment in the North Shunhe Street area of Daokou Town, and the relationship between street and alleys spatial wind environment and its spatial characteristics and scale is analyzed. The research results show that the ventilation effect of the open space, corner space and entrance space of the street is better, and the relationship between the street scale and the comfortable wind of the street space has more obvious differences in different seasons. In summer and winter, the building height is positively correlated with the comfortable wind speed ratio when the street width is constant; when the building height is constant and the street width is between 1.3 m and 2.0 m, the comfortable wind speed ratio increases first and then decreases with the increase of street width; when the building height is constant and the street width is between 2.0 m and 5.0 m, the comfortable wind speed ratio increases first and then decreases with the increase of the street aspect ratio. But in spring, when the street width is between 1.3 m and 2.0 m and the building height is not 9 m, the comfortable wind speed ratio of the street width decreases first and then increases with the increase of the building height; the comfortable wind speed ratio of the building height is positively correlated with the width of the street and negatively correlated with the aspect ratio of the street.

Key words: historical villages and towns; wind environment; street scale; CFD technology

“生态宜居”是乡村振兴的关键, 改善村镇人居环境, 提升村镇室外公共空间的舒适性是亟须解决的问题^[1]。而传统街巷不仅是居民日常的交通联系、生活交往空间, 也是历史村镇文脉特征的

重要载体, 其空间形态特征对室外微气候环境的形成有重要的影响。如何在保护历史村镇传统街巷肌理格局的同时, 优化其室外风环境, 需要进一步究明历史村镇街巷空间形态与风环境之间的

收稿日期: 2022-03-10

修回日期: 2023-05-06

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目(2019YFE0106200)

第一作者: 张佳敏(1997—), 女, 硕士生, 研究方向为历史城镇可持续发展, 建筑遗产保护与利用研究。E-mail: 2359383298@qq.com

通信作者: 吕红医(1970—), 女, 博士, 教授, 研究方向为历史城镇可持续发展, 建筑遗产保护与利用研究。E-mail: 492399472@qq.com

关系。道口镇, 作为大运河永济渠段重要的历史村镇, 具有“三街六铺七十二胡同”的典型传统街巷空间结构, 是开展历史村镇传统街巷空间风环境特征与其空间形态关联研究的重要样本。

目前, 国内学者对村镇室外风环境的研究已取得一些成果。研究内容主要集中于民居形式布局、院落几何形态以及聚落选址格局等与风环境的关系方面。如张芳芳等^[2]在冬季防风前提下, 从建筑布局及细节设计方面提出改善夏季通风的若干策略, 石峰等^[3]定量的归纳出福州特色民居夏季院落风环境与天井几何形态特征的关系, 张欣宇等^[4]基于对冬季风环境的改善探讨了东北村落形态适宜的发展方向, 董晓等^[5]确定了在秦岭山地历史文化名镇空间延展过程中具有舒适风环境的街巷尺度。从工况而言, 既有研究对于南方及西北地区主要侧重于夏季通风, 北方地区侧重冬季防风, 而南北交界处多对夏季与冬季的风环境状况进行综合考虑。研究方法主要是实地测试法^[6]、CFD 软件模拟法^[7]以及风洞试验法等。从风环境的评价标准上, 多采用诸如风速风压大小、通风情况、是否有风环境问题等以定性描述为主的评价方式^[8-9], 也有一些学者引入平均风速值、空气龄、风速比、舒适风速比率等定量评价标准^[10-11]。

国外相关领域对街巷风环境的研究侧重于城市中各因素对街道峡谷内空气流动和污染物扩散的影响, 有城市形态^[12]、街巷空间特征^[13-14]、建筑形式及布局^[15-16]与植被树木^[17-18]等因素。而对村镇物理环境的研究则集中在热舒适方面, 如 Fan 等^[19]研究了村落空间形态中各因素对热舒适的影响程度; Chen 等^[20]研究发现街巷高宽比是影响传统街巷“冷巷”热舒适的主要原因, 部分学者则对村镇物理环境进行综合考虑^[21]。

综上, 国内对村镇室外风环境的研究已取得较为丰富的成果, 但对街巷风环境的专门研究较为匮乏, 且以定性描述为主。而国外虽对街巷风环境展开了大量研究, 但集中在城市街谷领域, 对传统村镇物理环境的研究则侧重于热舒适方面。国内外对村镇街巷风环境的研究尚有所不足, 而不同地区的街巷空间特征不尽相同, 气候类型更是差别很大, 同一地区不同季节的气候特征及舒适需求也有所差异, 那么有必要对不同地区的街巷空间风环境特征进行探究。笔者以滑县道口镇顺河北街片区传统街巷空间作为研究对象, 首先通过实地测试、CFD 软件模拟的方法, 对街区四季风环境现状进行模拟, 分析总结街巷中不同空间特征位置处的风环境状况, 并论证街巷尺度对

风环境的重要影响; 基于对传统街巷尺度的统计归纳, 构建了不同高度、宽度的街巷空间简化模型, 并以舒适风速比率为评价标准, 尝试总结出街巷空间风环境与街巷尺度的关系。

1 研究对象

1.1 风环境特征

道口镇位于河南省安阳市滑县卫河河畔, 属暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 日照充足, 雨热同期。其冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨, 春季风沙较大, 春秋季节为过渡季节, 温度变化幅度较大^[22]。因此除考虑冬季防风、夏季通风外, 还应关注过渡季节的风环境问题, 就道口而言, 有必要对四季风环境进行综合分析。

论文统计了 2019 年滑县气象站的室外环境参数, 得到了滑县各季节的平均风速及最大风频(表 1)。由表可知春季平均风速最大, 秋季平均风速最小, 夏季最大风频为西南向, 与顺北片区内主要街道走向相平行, 有利于将夏季的风引入街道, 为构建通风廊道提供了可能^[23]。

表 1 各季节平均风速和最大风频

Tab. 1 Average wind speed and maximum wind frequency in each season

季节	夏季	冬季	春季	秋季
平均风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2.06	2.04	2.50	1.79
最大风频	西南	北	南	东北

1.2 街巷空间特征

道口镇顺河北街片区是道口镇传统街巷较为集中的区域, 有“三街十四巷”之称, 其中以顺河北街西北侧街巷胡同最为集中, 包含有顺河北街、顺北二道街以及顺北三道街三条偏东西向街道以及杨家胡同、裤裆胡同、满家胡同、关家胡同、彭家胡同、申家胡同、善局胡同以及肖家胡同八条偏南北向巷道(图 1)。



图 1 顺河北街西北侧片区街巷及测点分布图

Fig. 1 Distribution of streets, lanes and measuring points in the northwest of Shunhe North Street

对街巷风环境造成影响的因素主要有街巷走势、街巷尺度及路面材质等。其中街巷的走势与尺度是影响风环境的主要因素^[24]，而在传统村镇的保护更新中，为避免村镇肌理的破坏，一般需保持并延续街巷走势，那么街巷尺度与风环境的关联研究就较为关键。该片区各街巷空间形态特征存在较大的差异性，为其之间的对比分析奠定了基础，故论文选取该区域为主

要研究对象。

通过调查分析，统计得到顺河北街西北侧片区的街巷尺度，得到表2。由表可知，街巷宽度在1.3~5.0 m之间，而街巷两侧的建筑形式多样，建筑层数从一层到三层不等，建筑高度多在3.0~9.0 m之间，其中单层双坡顶建筑形式占比最多。故研究片区内街巷高宽比在0.60~6.85区间范围内。

表2 顺河北街西北侧片区街巷尺度统计

Tab. 2 Scale statistics of streets and lanes in the northwest of Shunhe North Street

街巷	顺河北街	顺北二道街	顺北三道街	杨家胡同	裤裆胡同	满家胡同	关家胡同	彭家胡同	申家胡同	善局胡同	肖家胡同
d/m	4.0~6.0	3.1~3.7	4.0~5.0	1.1~1.8	1.1~1.5	1.4~2.1	1.3~1.7	1.3~1.7	1.3~1.7	1.3~1.7	1.6~1.7
D/m	5.00	3.40	4.50	1.45	1.30	1.75	1.50	1.50	1.50	1.50	1.65
H/m	3.0~9.0	3.3~9.0	3.0~9.0	3.0~9.0	3.0~8.9	3.0~8.6	3.0~9.0	3.0~9.0	3.0~9.0	3.0~8.4	3.0~8.8
H/D	0.60~1.80	0.97~2.65	0.67~2.00	2.07~6.21	2.31~6.85	1.71~4.91	2.00~6.00	2.00~6.00	2.00~6.00	2.00~5.60	1.82~5.33

表中： d 为街巷宽度范围，m； D 为平均街巷宽度，m； H 为两侧建筑高度(坡屋顶取檐下高度)，m； H/D 为两侧建筑高度与平均街巷宽度的比值。

2 街巷风环境特征现状分析

2.1 街区模型建立及参数设置

研究片区内建筑屋顶类型分为平屋顶、坡屋顶、平坡混合式屋顶三种。其中，平屋顶、坡屋顶按照实际尺寸进行建模，为提高建模效率，减轻模拟计算难度，将平坡混合式屋顶简化为平屋顶形式，高度取平屋顶高度与坡屋顶高度的平均值。建模软件采用2016 AutoCAD，得到分析模型(图2)。

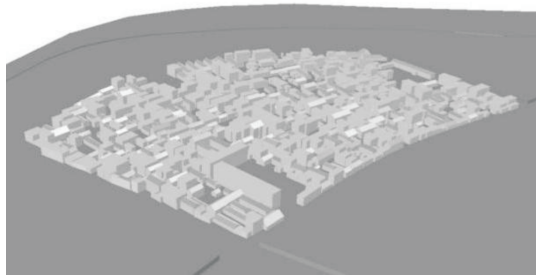


图2 研究片区模型

Fig. 2 Study area model

Phoenics 软件是进行流体流动分析和传热的计算流体力学软件，具有智能化程度高、接口便捷、模拟结果准确可靠的优点，且有建筑专用的模块(FLAIR)，故选用 Phoenics 软件对研究片区进行风环境模拟。

模拟选取范围为 800 m×800 m，在进行室外模拟时，为了防止气流在区域边界产生反弹和震荡干扰结论的精确性，本文中模拟背景区域大小水平方向上设为模型实际尺寸的 5 倍，高度方向

上设为其 3 倍，以此来排除干扰。同时对目标建筑群网格进行密集化处理，突出运算核心区域，并以 1.1 为渐变率与周边空旷场地自然过渡。研究对象地形地貌为低植被，偶尔有高大障碍物，粗糙度取值为 1.4 m。温度设定为 20℃，不考虑太阳辐射影响。模块选择 FLAIR，湍流模型选择 k-epsilon 模型，初始风速与风向按照表 1 所示进行设置。

2.2 实地测试与模拟验证

为验证 Phoenics 软件模拟结果的可靠性，对顺北街区风环境进行实地测试与模拟验证。测试时间为 2021 年 12 月 9 日，测试点位置见图 1，对每个测试点连续监测 5 min，每秒记录一次数据，取其平均值作为各测试点实测风速值。测试当天，街区入口风速约为 2.00 m/s，风向为西北风，为使模拟结果与实测结果相对应分析，以此为边界条件进行街巷风环境数值模拟，并读取模拟结果中相对应测试点的风速值。

通过对各测点模拟风速值与实测风速值的对比，发现实测值与模拟值整体上大小相近、变化趋势也较为一致(图 3)，其中顺河北街入口、顺北三道街尽端及杨家胡同入口三个测点有较大的差异性，但考虑到风速瞬时变化的特点所引起误差，对其进行剔除考虑。然后运用 SPSS 对剔除三组极端值的实测与模拟数据作双变量相关性分析，皮尔逊相关系数达到 0.77(表 3)，表明实测结果与模拟结果具有很强的相关性，总体上说明了运用

Phoenixs 软件模拟具有可靠性.

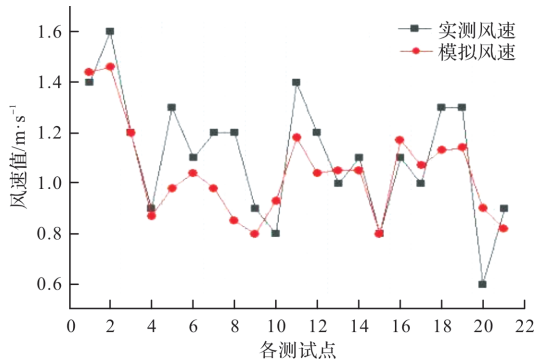


图 3 实测风速值与模拟风速值对比图
Fig. 3 Comparison diagram of measured and simulated wind speed values

表 3 实测风速与模拟风速相关性分析结果

Tab. 3 Correlation analysis results of measured wind speed and simulated wind speed			
项目		实测风速	模拟风速
实测风速	皮尔逊相关性	1	0.770**
	显著性(双尾)		0.000
	个案数	21	21
模拟风速	皮尔逊相关性	0.770**	1
	显著性(双尾)	0.000	
	个案数	21	21

注: ** 表示在 0.01 级别(双尾), 相关性显著

2.3 选取街巷及测点的空间特征

为使模拟结果更具代表性, 选取顺河北街、顺北二道街、顺北三道街三条偏东西向街道以及杨家胡同、裤裆胡同、满家胡同三条偏南北向巷道作为具体分析对象, 其中偏东西向街道高宽比多小于偏南北向巷道高宽比, 且偏东西向街道走势与卫河平行, 而偏南北向巷道走势与卫河垂直, 之后在每条街巷中选取四个测点进行风速的读取与对比, 测点选取的依据为: 入口位置、中间位置、尺度或方向变化位置以及尽端位置, 各街巷中不同测点的空间特征如表 4 所示, 测点位置见图 1.

表 4 顺河北街西北侧街区选取街巷各测点空间特征

Tab. 4 Characteristics of selected measuring points of streets and lanes in the northwest block of Shunhe North Street						
选取街巷中各测点特征						
位置	顺河北街	顺北二道街	顺北三道街	杨家胡同	裤裆胡同	满家胡同
测点 1	入口	入口	入口	入口	入口	入口
测点 2	中间	中间	中间	中间	中间	中间
测点 3	开敞	开敞	开敞	开敞	转弯	开敞
测点 4	入口	尽端	尽端	河道入口	尽端	尽端

2.4 街巷风环境现状模拟结果分析

基于四种典型季节风条件下的街区风环境模拟结果, 对不同季节所选取街巷中各测点的风速值进行对比(图 4), 并与其空间特征进行关联分析, 可知:

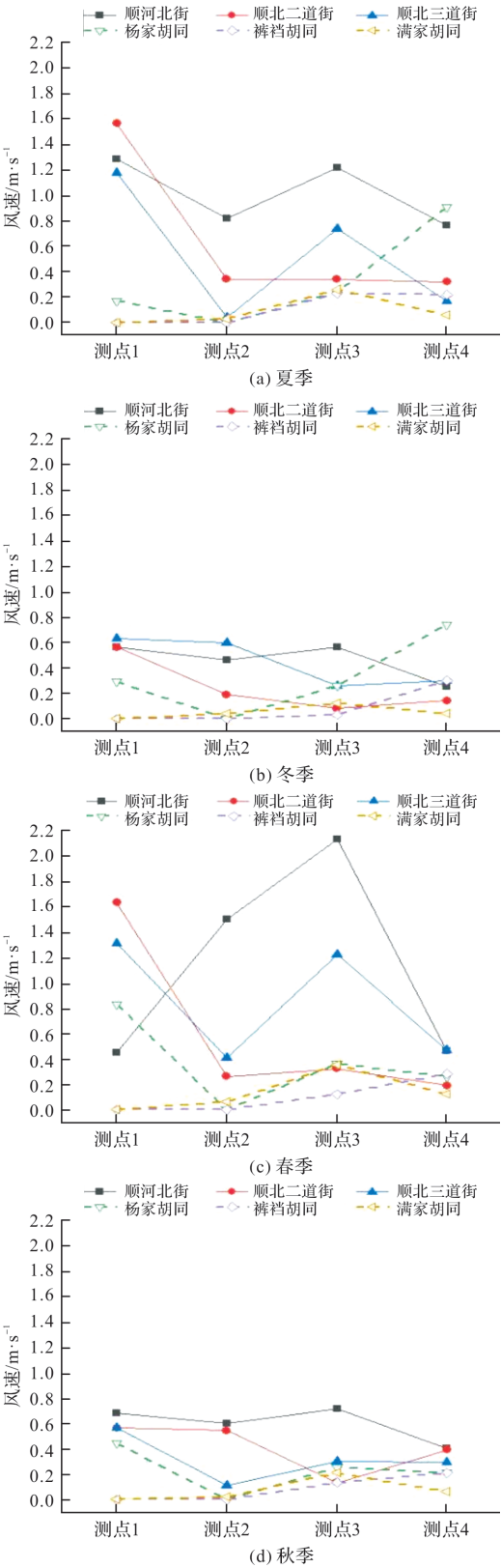


图 4 四季风环境条件下街巷各测点风速值
Fig. 4 Wind speed values at various measurement points in streets and alleys under four seasons wind environment conditions

(1)对于偏南北向巷道,杨家胡同测点1处与测点4处的风速值远大于另两条偏南北向巷道相对测点的风速值,而同一巷道内测点2处风速值小于测点3处风速值。如在夏季风环境条件下,杨家胡同测点1、测点2、测点3、测点4的风速值分别为0.17、0、0.24、0.91 m/s,满家胡同测点1、测点2、测点3、测点4的风速值分别为0、0.03、0.26、0.06 m/s,裤裆胡同测点1、测点2、测点3、测点4的风速值分别为0、0、0.23、0.22 m/s。原因是杨家胡同测点1附近为开敞的空地,而测点4与卫河相临,杨家胡同、满家胡同与裤裆胡同测点3位置分别为街巷中间开敞处与拐角处。故街巷中的开敞空间具有引风导风作用,且街巷拐角处通风效果较中间位置要好。

(2)偏东西向街道中各测点风速值大小表现为:测点1>测点2>测点4。如在冬季风环境条件下,顺北二道街测点1风速值为0.56 m/s,测点2风速值为0.19 m/s,测点4风速值为0.14 m/s,又测点1、测点2、测点4分别是街巷的入口、中间以及尽端,故入口风速值>中间风速值>尽端风速值,即街巷中距离入口处越远的位置,其风速值越小。且偏东西向街道除极少数情况之外,街道内测点2处风速值亦小于测点3处风速值,与结论1相一致。

(3)在四季风环境条件下,偏东西向街道风速值多大于偏南北向巷道风速值。如在春季风环境条件下,顺河北街测点1、测点2、测点3、测点4的风速值分别为0.45、1.50、2.13、0.46 m/s,杨家胡同测点1、测点2、测点3、测点4的风速值分别为0.83、0、0.36、0.26 m/s。由前文可知偏东西向街道高宽比平均值小于偏南北向巷道高宽比平均值,但两者走势几乎呈垂直状态,而街道与巷道的风速值大小情况并未随四季风向的不同而有明显差异,可知街巷尺度对风环境有至关重要的影响。

以上结论中(1)、(2)项在相关文献中有所体现^[25-26],而街巷尺度对街巷风环境的影响作用较为复杂,街巷高宽比较大时,可能形成狭管效应,而随着街巷高宽比减小到某一程度,将会形成通风廊道,与街巷高宽比对街巷热环境的正、负两方面影响较为相似^[27]。故道口镇街巷尺度与风环境的量化关系有待于后文进一步的论证说明。

3 街巷尺度对风环境的影响

3.1 舒适风速的确定

《中国生态住宅技术评估手册》对风环境的规定为:建筑物周围行人区1.5 m处,风速小于5 m/s^[28]。根据GB/T 50378—2019《绿色建筑评价标准》中规定:在冬季典型风速和风向条件下,建筑物周围人行区距地高1.5 m处风速小于5 m/s;过渡季、夏季典型风速和风向条件下,场地内人活动区不出现涡旋或无风区^[29]。国外日本村上上周三和森川泰成考虑到不同温度下人们风感存在一定的差异,提出了不同温度下舒适风速的范围(见表5)^[30]。

表5 不同温度下舒适风速范围

Tab. 5 Comfortable wind speed range under different temperatures

评价范围	温度范围/℃		
	<10	10~25	>25
人体舒适风速范围/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	<1.3	<1.5	0.7~1.7
舒适风速与不舒适风速之间的过渡范围/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.3~2.0	1.5~2.3	1.7~2.9
引起人体不舒适的强风范围/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	>2.0	>2.3	>2.9

综上所述,由于寒冷地区在冬季供暖期间会产生空气污染物,结合夏季对滑县道口镇实地调研时发现的街巷内异味较重的现象,且知当风速低于0.5 m/s时,不利于街巷内污染物的消散,故确定夏季舒适风速范围为0.7~1.7 m/s,冬季舒适风速范围为0.5~1.3 m/s,过渡季节舒适风速范围为0.5~1.5 m/s。针对居民的舒适需求,为了便于对不同工况下的风环境进行对比分析,采用舒适风速比率作为评价标准,舒适风速比率指的是舒适风速的面积占评价区域总面积的比值,如夏季舒适风速比率指的是风速在0.7~1.7 m/s之间的面积占评价区域总面积的比值^[11]。

3.2 街巷简化模型的建立

由表2可知,街巷宽度在1.3~5.0 m之间,其中偏南北向巷道宽度在1.3~2.0 m之间变化,而偏东西向街道宽度在3.0~5.0 m之间,偏南北向巷道数量多,宽度变化幅度小,故简化模型中街巷宽度取值分别为1.3、1.5、1.7、2.0、3.0、4.0、5.0 m。两侧建筑高度多在3.0~9.0 m之间,由于研究区域中建筑大多为两层及以下,故模型中街巷两侧建筑高度分别取3.0、4.0、5.0、6.0、9.0 m,在四季风环境条件下共计140种模

拟工况，街巷模型长度取该片区街巷长度平均值 110 m，街巷两侧建筑进深取院落进深平均值 15 m (如图 5)。

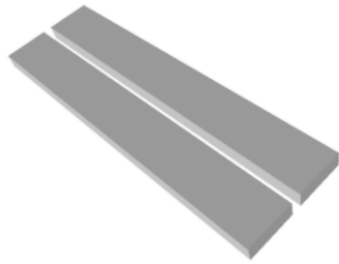


图 5 街巷模型示意图

Fig. 5 Schematic diagram of street and lane model

通过第 2.4 节中对该片区的模拟分析，可知街巷内部风向多与街巷平行^[23]，为了较为准确地得到街巷空间的模拟结果，论文读取了顺河北街和卫河路距离地面 1.5 m 处风速的最大值与最小值，求出平均值作为后文街巷空间风环境模拟的入口风速值(表 6)，并以此为边界条件。其他参数设置与前文相同，论文对四种典型季节风条件下不同街巷尺度的风环境进行数值模拟，并以舒适风速比率为评价标准进行分析。

表 6 街巷入口风速值

Tab. 6 Wind speed at street entrance

季节	夏季	冬季	春季	秋季
街巷入口风速值/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0.84	0.59	1.07	0.41

3.3 街巷空间风环境模拟结果分析

3.3.1 夏季风环境模拟结果

夏季，舒适风速范围为 0.7~1.7 m/s，当初始风速为 0.84 m/s 时，不同尺度的街巷在 1.5 m 处的舒适风速比率如图 6 所示。

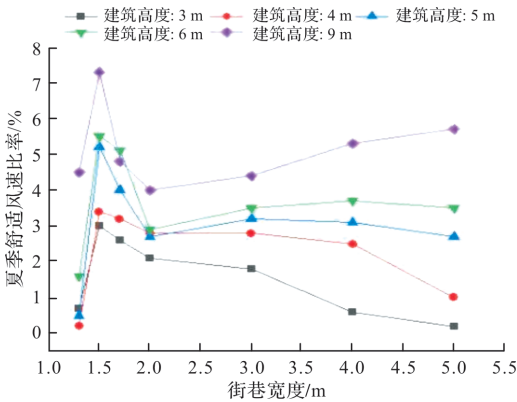


图 6 夏季舒适风速比率随建筑高度、街巷宽度变化图

Fig. 6 Variation of comfortable wind speed ratio with building height and street width in summer

参考表 7 可知：不同工况下，街巷的夏季舒适风速比率均小于 8.0%，其中，街巷宽度一定，建

筑高度与舒适风速比率明显成正相关；街巷宽度与舒适风速比率的关系需分情况讨论；在一定区间内，舒适风速比率随街巷高宽比的增加呈先增加后减小的趋势。

表 7 不同街巷尺度下夏季舒适风速比率模拟结果

Tab. 7 Simulation results of summer comfortable wind speed ratio at different street and lane scales

建筑	不同街巷宽度下的舒适风速比率/%						
高度/m	1.3	1.5	1.7	2.0	3.0	4.0	5.0
3	0.7	3.0	2.6	2.1	1.8	0.6	0.2
4	0.2	3.4	3.2	2.8	2.8	2.5	1.0
5	0.5	5.2	4.0	2.7	3.2	3.1	2.7
6	1.6	5.5	5.1	2.9	3.5	3.7	3.5
9	4.5	7.3	4.8	4.0	4.4	5.3	5.7

街巷宽度一定，随着建筑高度的增加，舒适风速比率基本呈逐渐增加的趋势，如街巷宽度为 1.5 m 时，在建筑高度分别为 3.0、4.0、5.0、6.0、9.0 m 的情况下，舒适风速比率分别为 3.0%、3.4%、5.2%、5.5%、7.3%。

建筑高度一定，当街巷宽度在 1.3~1.5 m 之间，舒适风速比率随着宽度的增加而增大，当街巷宽度在 1.5~2.0 m 之间，舒适风速比率随着宽度的增加而减小，如建筑高度为 5.0 m，街巷宽度分别为 1.3、1.5、1.7、2.0 m 时，舒适风速比率分别为 0.5%、5.2%、4.0%、2.7%。当街巷宽度在 2.0~5.0 m 之间时，不同的建筑高度导致舒适风速比率随宽度的变化有所不同，其中建筑高度为 3.0 m、4.0 m 时，舒适风速比率随宽度的增加而减小，如建筑高度为 3.0 m，街巷宽度分别为 2.0、3.0、4.0、5.0 m 时，舒适风速比率分别为 2.1%、1.8%、0.6%、0.2%；建筑高度为 5.0 m、6.0 m 时，舒适风速比率随宽度的增加变化趋势较为平稳，如建筑高度为 5.0 m，街巷宽度分别为 2.0、3.0、4.0、5.0 m 时，舒适风速比率分别为 2.7%、3.2%、3.1%、2.7%；建筑高度为 9.0 m，街巷宽度分别为 2.0、3.0、4.0、5.0 m 时，舒适风速比率分别为 4.0%、4.4%、5.3%、5.7%，可知舒适风速比率随着宽度的增加而增大。故在现行设计尺寸中，街巷宽度为 1.5 m 时，舒适风速比率达到最高。

当街巷宽度在 2.0~5.0 m 之间时，不同建筑高度下街巷高宽比与夏季舒适风速比率的关系如图 7 所示，由图可知，舒适风速比率随街巷高宽比的增加呈先增加后减小的趋势，且在现行设计工况下，街巷高宽比约为 1.5 时，夏季舒适风速比率

达到最大值。

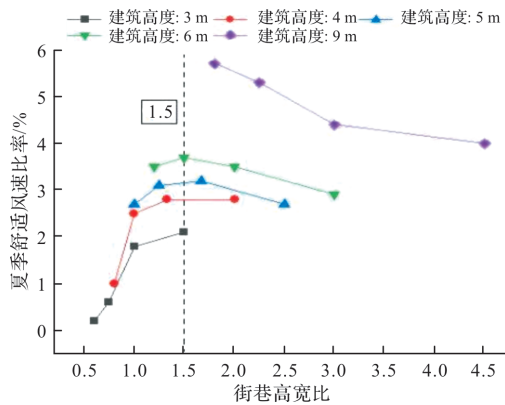


图7 不同建筑高度下夏季舒适风速比率随街巷高宽比变化图

Fig. 7 Variation of comfortable wind speed ratio with street height width ratio in summer under different building heights

3.3.2 冬季风环境

冬季,舒适风速范围为0.5~1.3 m/s,当初始风速为0.59 m/s时,不同比例尺度的街巷在1.5 m处的舒适风速比率如图8所示。参考表8可知:不同工况下,街巷的夏季舒适风速比率均小于10.0%,其中,街巷宽度一定,建筑高度与舒适风速比率明显成正相关;建筑高度一定,舒适风速比率随着街巷宽度的增加基本呈先增加后减小的趋势;在一定区间内,舒适风速比率随街巷高宽比的增加呈先增加后减小的趋势。

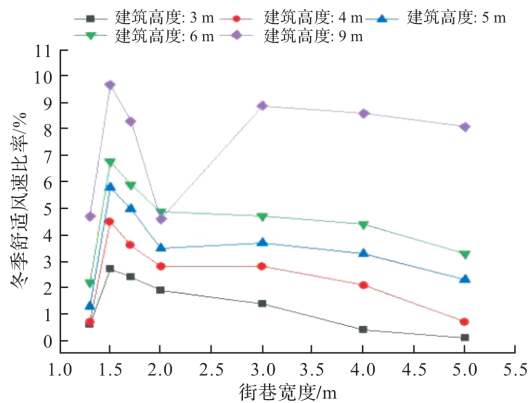


图8 冬季舒适风速比率随建筑高度、街巷宽度变化图

Fig. 8 Variation of comfortable wind speed ratio with building height and street width in winter

街巷宽度一定,随着建筑高度的增加,舒适风速比率逐渐增加。如街巷宽度为3.0 m时,在建筑高度分别为3.0、4.0、5.0、6.0、9.0 m的情况下,舒适风速比率分别为1.4%、2.8%、3.7%、4.7%、8.9%。

建筑高度一定,当街巷宽度在1.3~1.5 m之

间时,随着街巷宽度的增加,舒适风速比率显著增加;街巷宽度大于1.5 m时,随着街巷宽度的增加,除建筑高度分为9.0 m的情况之外,舒适风速比率基本呈逐渐减小的趋势。如建筑高度为6.0 m,街巷宽度分别为1.3、1.5、1.7、3.0、5.0 m时,舒适风速比率分别为2.2%、6.8%、5.9%、4.7%、3.3%。故在现行设计尺寸中,街巷宽度为1.5 m时,舒适风速比率达到最高。

当街巷宽度在2.0~5.0 m之间时,不同建筑高度下街巷高宽比与冬季舒适风速比率的关系如图9所示,由图可知,舒适风速比率随街巷高宽比的增加呈先增加后减小的趋势,当建筑高度在3.0~6.0 m之间,街道高宽比接近1.5时,以及当建筑高度在6.0~9.0 m之间,街巷高宽比为3时,冬季舒适风速比率达到最大值。

表8 不同街巷尺度下冬季舒适风速比率模拟结果

Tab. 8 Simulation results of comfort wind speed ratio in winter at different street and lane scales

建筑高度/m	不同街巷宽度下的舒适风速比率/%					
	1.3	1.5	1.7	2.0	3.0	5.0
3	0.6	3	0.6	3	0.6	3
4	0.7	4	0.7	4	0.7	4
5	1.3	5	1.3	5	1.3	5
6	2.2	6	2.2	6	2.2	6
9	4.7	9	4.7	9	4.7	9

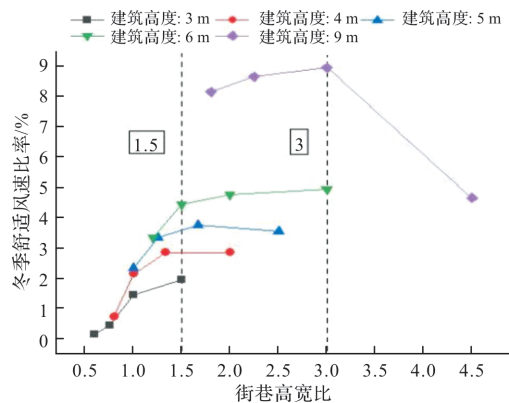


图9 不同建筑高度下冬季舒适风速比率随街巷高宽比变化图

Fig. 9 Variation of comfortable wind speed ratio with street height width ratio in winter under different building heights

3.3.3 过渡季节风环境

春季,舒适风速范围为0.5~1.5 m/s,当初始风速为1.07 m/s时,不同比例尺度的街巷在1.5 m处的舒适风速比率如图10所示。参考表9可知:不同工况下,街巷的春季舒适风速比率均超过了90%,当街巷宽度大于等于2.0 m或建筑

高度等于 9.0 m 时,舒适风速比率可达 100%。当街巷宽度在 1.3~2.0 m 之间,街巷宽度一定时,舒适风速比率随着建筑高度的增加呈先减小后增加的趋势;建筑高度一定时,舒适风速比率与街巷宽度呈正相关,与街巷高宽比呈负相关。

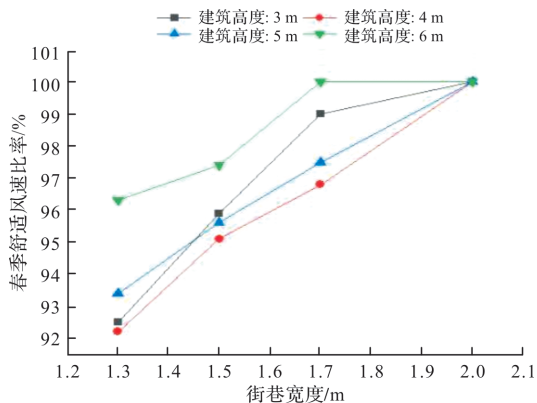


图 10 春季舒适风速比率随建筑高度、街巷宽度变化图

Fig. 10 Variation of comfortable wind speed ratio with building height and street width in spring

表 9 不同街巷尺度下春季舒适风速比率模拟结果

Tab. 9 Simulation results of comfortable wind speed ratio in spring at different street and lane scales

建筑高度/m	不同街巷宽度下的舒适风速比率/%						
	1.3	1.5	1.7	2.0	3.0	4.0	5.0
3	92.5	95.9	99.0	100	100	100	100
4	92.2	95.1	96.8	100	100	100	100
5	93.4	95.6	97.5	100	100	100	100
6	96.3	97.4	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100

街巷宽度一定时,随着建筑高度的增加,春季舒适风速比率呈先减小后增加的趋势,如街巷宽度为 1.5 m,建筑高度分别为 3.0、4.0、5.0、6.0、9.0 m 时,舒适风速比率分别为 95.9%、95.1%、95.6%、97.4%、100%,在建筑高度为 4.0 m 时,春季舒适风速比率为最小值。

建筑高度一定时,随着街巷宽度的增加,春季舒适风速比率呈增加的趋势,如建筑高度为 4.0 m,街巷宽度分别为 1.3、1.5、1.7、2.0 m 时,舒适风速比率分别为 92.2%、95.1%、96.8%、100%。不同建筑高度下街巷高宽比与春季舒适风速比率的关系如图 11 所示,由图可知,街巷高宽比与春季舒适风速比率呈负相关。

秋季风环境条件下,当初始风速为 0.41 m/s 时,各街巷尺度下 1.5 m 高度处的模拟结果风速

值均小于 0.41 m/s。而秋季舒适风速范围为 0.5~1.5 m/s,故各街巷尺度秋季舒适风速比率均为 0。

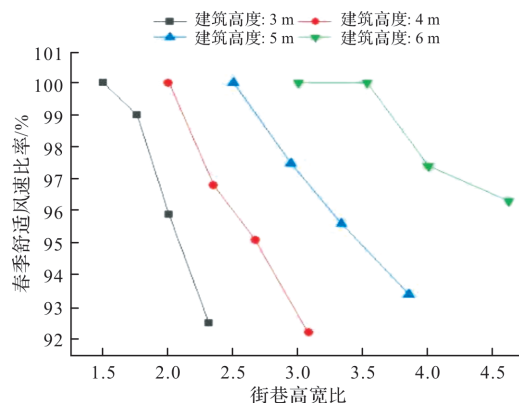


图 11 不同建筑高度下春季舒适风速比率随街巷高宽比变化图

Fig. 11 Variation of comfortable wind speed ratio with street height width ratio in spring under different building heights

4 结论

论文以道口镇顺河北街西北侧片区为例进行风环境模拟,结合顺河北街街巷尺度的统计归纳,分析了该片区街巷中不同位置的风速值大小与其空间特征的关系。基于此,为进一步说明街巷尺度与街巷舒适风环境的关系规律,通过对街巷简化模型的风环境模拟,对比分析了不同建筑高度、街巷宽度、街巷高宽比的舒适风速比率。结果表明:

(1) 相对开敞的街巷空间具有良好的通风效果,街巷入口处、街巷拐角处较中间位置的风速值要高,且随着街道的深入,由于两侧建筑物的遮挡,风速明显降低;

(2) 夏冬两季,街巷宽度一定时舒适风速比率与两侧建筑高度呈正相关;建筑高度一定,街巷宽度在 1.3~2.0 m 之间,舒适风速比率随着宽度的增加呈先增大后减小的趋势,在 1.5 m 时达到最大值;建筑高度一定,街巷宽度在 2.0~5.0 m 之间时,舒适风速比率随街巷高宽比增加先增大后减小,夏季在高宽比为 1.5 时舒适风速比率达到最大值,而当冬季舒适风速比率达到最大值时的街巷高宽比随着建筑高度的不同而有所区别;

(3) 春季,当街巷宽度在 1.3~2.0 m 之间且建筑高度不为 9 m,街巷宽度一定时舒适风速比率随着建筑高度的增加呈先减小后增加的趋势;建筑高度一定时舒适风速比率与街巷宽度呈正相关,与街巷高宽比呈负相关。

参考文献 References

- [1] 阿布力克木·托合提,朱礼同,王万江.吐鲁番坎儿井公共空间热舒适度模拟研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(5):617-624.
TUOHETI A,ZHU Litong,WANG Wanjiang. Simulation study on thermal comfort of Karez public space in Turpan[J].J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition),2021,53(5):617-624.
- [2] 张芳芳,张群,王江丽.洛阳乡村民居建筑通风优化策略及效能[J].工业建筑,2020,50(7):34-40.
ZHANG Fangfang,ZHANG Qun,WANG Jiangli. Ventilation optimization strategy and efficiency of rural dwellings in Luoyang[J]. Industrial Building,2020,50(7):34-40.
- [3] 石峰,金伟.福州“多进天井式”民居天井几何形态对建筑风环境的影响研究——以琴江村“黄恩禄故居”为例[J].建筑学报,2016(S1):18-21.
SHI Feng,JIN Wei. A study of the impact of patio's geometric morphology on wind environment of the traditional folk houses in Fuzhou district;A case study of Huang Enlu's residence in Qinjiang village[J]. Architectural Journal,2016(S1):18-21.
- [4] 张欣宇,金虹.基于改善冬季风环境的东北村落形态优化研究[J].建筑学报,2016(10):83-87.
ZHANG Xinyu,JIN Hong. A study on morphological optimization of a village in the northeast based on improvement of the winter wind environment[J]. Architectural Journal,2016(10):83-87.
- [5] 董晓,刘加平,霍小平.秦岭山地历史文化名镇街巷空间风环境研究[J].工业建筑,2019,49(5):46-52.
DONG Xiao,LIU Jiaping,HUO Xiaoping. Study on streets space wind environment of historical and cultural towns of Qinling mountains[J]. Industrial Building,2019,49(5):46-52.
- [6] 张群,车晓敏,刘加平,等.苏南地区居住建筑夏季自然通风实测分析与设计策略[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2015,47(1):87-90,114.
ZHANG Qun,CHE Xiaomin,LIU Jiaping,et al. Test analysis and design strategy on the summer natural ventilation for residential buildings in southern Jiangsu Province[J].J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition),2015,47(1):87-90,114.
- [7] 李昉芳,石谦飞.基于计算流体动力学的晋东南传统院落内部风环境数值分析[J].科学技术与工程,2021,21(6):2405-2413.
LI Fangfang,SHI Qianfei. Numerical analysis of wind environment in traditional courtyard of southeast Shanxi based on computational fluid dynamics[J]. Science Technology and Engineering,2021,21(6):2405-2413.
- [8] 王雪松,曹宇博.“藏风聚气”与传统村镇风环境研究——以重庆偏岩古镇为例[J].建筑学报,2012(S2):21-23.
WANG Xuesong,CAO Yubo. Research on “cang feng ju qi” and the wind environment of traditional villages and towns: The case of Pianyan ancient town, Chongqing[J]. Architectural Journal,2012(S2):21-23.
- [9] 林晨,刘加平.新型传统民居风环境研究——以云南彝族民居为例[J].建筑科学,2011,27(12):25-30,40.
LIN Chen,LIU Jiaping. Study on wind environment of new type traditional dwelling houses: Taking Yunnan Yi minority dwelling houses as an example[J]. Building Science,2011,27(12):25-30,40.
- [10] 尹东衡,张九鹏,黄春华,等.湘南地区高层住宅夏季室内风场影响因子数值分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2021,53(5):729-736.
YIN Dongheng,ZHANG Jiupeng,HUANG Chunhua,et al. The numerical analysis of factors affecting indoor wind field of high-rise residential buildings in southern Hunan in summer[J].J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition),2021,53(5):729-736.
- [11] 张华.江南水乡村镇住宅自然通风设计研究[D].南京:东南大学,2016.
ZHANG Hua. Research on natural ventilation design of rural housing in Yangtze river delta[D]. Nanjing: Southeast University,2016.
- [12] YANG J Y,SHI B X,SHI Y,et al. Air pollution dispersal in highdensity urban areas: research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form[J]. Sustainable Cities and Society,2020,54:101941.
- [13] FU X W,LIU J F,GEORGE A B,et al. Effects of canyon geometry on the distribution of traffic-related air pollution in a large urban area: implications of a multicanyon air pollution dispersion model[J]. Atmospheric Environment,2017,165:111-121.
- [14] JIN Y M,JIN H,KANG J,et al. Effects of openings on the wind-sound environment in the traditional residential streets in a severe cold city of China[J]. Environment and Planning B-Urban Analytics and City Science,2020,47(5):808-825.
- [15] CUI D J,LI X D,LIU J L,et al. Effects of building layouts and envelope features on wind flow and pollutant

- exposure in height-asymmetric street canyons [J]. Building and Environment, 2021, 205: 108177.
- [16] MAIDER L M, ELIE B Z, MARCUS H, et al. The influence of building geometry on street canyon air flow: validation of large eddy simulations against wind tunnel experiments[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2017, 165: 115-130.
- [17] YANG H Y, CHEN T H, LIN Y Y, et al. Integrated impacts of tree planting and street aspect ratios on CO dispersion and personal exposure in full-scale street canyons [J]. Building and Environment, 2020, 169: 106529.
- [18] WANG L, SU J W, GU Z L, et al. Numerical study on flow field and pollutant dispersion in an ideal street canyon within a real tree model at different wind velocities [J]. Computers & Mathematics with Applications, 2021, 81: 679-692.
- [19] FAN Q D, DU F T, LI H, et al. Thermal-comfort evaluation of and plan for public space of Maling village, Henan, China[J]. PloS One, 2021, 16(9): e0256439.
- [20] CHEN H, WEI Y, LIN Y L, et al. Investigation on the thermal condition of a traditional Cold-Lane in summer in subtropical humid climate region of China [J]. Energies (Basel), 2020, 13(24): 6602.
- [21] ZENG Z W, LI L, PANG Y. Analysis on climate adaptability of traditional villages in Lingnan, China-World Cultural Heritage site of Majiang long villages as example [J]. Procedia Engineering, 2017, 205: 2011-2018.
- [22] 李永文, 徐晓霞, 刘玉振. 河南地理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2010: 24-29, 50.
LI Yongwen, XU Xiaoxia, LIU Yuzhen. Henan geographic[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2010: 24-29, 50.
- [23] 熊瑶, 严妍. 江南历史街区中小气候因子与热舒适性关联性研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2021, 53(2): 239-246.
XIONG Yao, YAN Yan. Study on the relationship between small and medium climate factors and thermal comfort in Jiangnan historical district[J]. J. of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition), 2021, 53(2): 239-246.
- [24] 郭尚霖, 孙一民. 广州地区街道微气候模拟及改善策略研究[J]. 城市规划学刊, 2016(1): 56-62.
WU Shanglin, SUN Yimin. Numerical simulation and improvement strategy for the street micro-climate in the Guangzhou area[J]. Urban Planning Forum, 2016(1): 56-62.
- [25] 陈沂, 唐颖磊, 陈晓娟, 等. 福建桂峰村古建民居的建筑物理环境测试与分析[J]. 建筑科学, 2016, 32(6): 14-20, 71.
CHEN Yi, TANG Haolei, CHEN Xiaojuan, et al. Test and analysis on the architectural physical environment of the ancient dwellings in Guifeng village, Fujian province[J]. Building Science, 2016, 32(6): 14-20, 71.
- [26] 刘鹏飞, 邹芳, 欧阳慧婷, 等. 基于风环境模拟的旧城区局部更新方式研究——以长沙市太平老街为例[J]. 南方建筑, 2020(1): 47-52.
LIU Pengfei, ZOU Fang, OUYANG Huiting, et al. A study of the partial renewal method of old inner cities based on wind environment simulation: A case study of Taiping street, Changsha[J]. South Architecture, 2020(1): 47-52.
- [27] 赵敬源, 刘加平. 城市街谷热环境数值模拟及规划设计对策[J]. 建筑学报, 2007(3): 37-39.
ZHAO Jingyuan, LIU Jiaping. Numerical simulation of thermal environment in urban street valley and countermeasures of planning and design [J]. Architectural Journal, 2007(3): 37-39.
- [28] 聂梅生, 秦佑国, 江亿, 等. 中国生态住宅技术评估手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
NIE Meisheng, QIN Youguo, JIANG Yi, et al. China ecological housing technology assessment manual[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [29] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 绿色建筑评价标准: GB/T 50378—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Assessment standard for green building: GB/T 50378—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [30] MURAKAMI S, MORIKAWA Y. Criteria for assessing wind-induced discomfort considering temperature effect[J]. Journal of Architecture Planning & Engineering, 1985(1): 9-17.

(编辑 吴海西 沈波)